

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 59-197520

(43)Date of publication of application : 09.11.1984

(51)Int.Cl.

C21D 8/12  
// C22C 38/02  
H01F 1/16

(21)Application number : 58-068346

(71)Applicant : KAWASAKI STEEL CORP

(22)Date of filing : 20.04.1983

(72)Inventor : SATO KEIJI  
FUKUDA BUNJIRO  
SHIMIZU HIROSHI  
ITO ISAO

(54) MANUFACTURE OF SINGLE-ORIENTED ELECTROMAGNETIC STEEL SHEET HAVING LOW IRON LOSS

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain a single-oriented electromagnetic steel sheet of which iron loss is not determined even though high temperature stress-relieving annealing is processed, by inducting seams onto the steel sheet before the final finish annealing process of silicon steel hot-rolled sheet limiting Si content.

CONSTITUTION: The silicon steel hot-rolled sheet containing 4.5wt% max. Si is cold-rolled to final product sheet thickness putting intermediate annealing between the cold rollings and final finish annealing is processed after decarborizing annealing. Seams are inducted onto the steel sheet before this final finish annealing process. If possible, those seams should be 300 $\mu$ m max. in width, about 1.0 $\mu$ m max. in length and about 1mm in the gap of rolling direction in the direction almost at right angle to rolling direction, and they are given by means of the edge of knife, laser beam etc. By this method, the iron loss improved for annealing at a high temperature can be maintained and the single-oriented electromagnetic steel sheet having iron loss suitable for iron core material can be obtained.

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the  
examiner's decision of rejection or application  
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of  
rejection][Date of requesting appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of extinction of right]

⑨ 日本国特許庁 (JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭59—197520

⑤ Int. Cl.<sup>3</sup>  
C 21 D 8/12  
// C 22 C 38/02  
H 01 F 1/16

識別記号

庁内整理番号  
B 7217—4K  
7147—4K  
7354—5E

⑬ 公開 昭和59年(1984)11月9日

発明の数 1  
審査請求 未請求

(全 6 頁)

⑭ 鉄損の低い一方向性電磁鋼板の製造方法

⑯ 発明者 清水洋

千葉市川崎町1番地川崎製鉄株式会社技術研究所内

⑰ 特 願 昭58—68346

⑱ 出 願 昭58(1983)4月20日

⑲ 発明者 伊藤庸

千葉市川崎町1番地川崎製鉄株式会社技術研究所内

⑳ 発明者 佐藤圭司

千葉市川崎町1番地川崎製鉄株式会社技術研究所内

㉑ 出 願 人 川崎製鉄株式会社

神戸市中央区北本町通1丁目1番28号

㉒ 発明者 福田文二郎

千葉市川崎町1番地川崎製鉄株式会社技術研究所内

㉓ 代理人 弁理士 杉村暁秀 外1名

明 細 書

1. 発明の名称 鉄損の低い一方向性電磁鋼板の製造方法

2. 特許請求の範囲

1. Si 4.5 重量%以下を含むけい素鋼熱延板を1回または中間焼なましをはさむ2回以上の冷間圧延により最終製品板厚となし、脱炭焼なましののち最終仕上げ焼なましを行なう一方向性電磁鋼板の製造方法において、最終仕上げ焼なまし工程の前に、鋼板に線状疵を導入することを特徴とする鉄損の低い一方向性電磁鋼板の製造方法。

2. 最終仕上げ焼なまし工程の前に、鋼板の圧延方向とほぼ直角な方向に幅300μ以下、深さ100μ以下、圧延方向の間隔1mm以上の線状疵を導入することから成る1記載の方法。

3. 発明の詳細な説明

技 術 分 野

一方向性電磁鋼板は、主として変圧器その他の

電気機器の鉄心として用いられ、その磁気特性が良好であることが要求される。特に鉄心として使用した際のエネルギー損失、即ち鉄損が低いことが重要であり、近年のエネルギー事情の悪化からとくに鉄損の低い電磁鋼板に対する要求は一段と高まりつつある。

従来技術とその問題点

ところで鉄損を減少させるためには、結晶方位を(110)(001)方位により高配に揃えること、Si含有量を上げ、それにより鋼板の電気抵抗を増加させること、そして不純物を低減させること、などが種々に試みられた。しかしながら、これらの方法による鉄損の低減は近年の技術の向上によりほぼ限界近くに達している。

一万特開昭50-187819号公報では、鋼板に二次再結晶阻止領域を形成させることにより、二次粒径を小さくし、鉄損を減少させる方法が提案されているが、この方法は実用化が難しく、実際には用いられていない。

このように冶金学的な手法による鉄損の低減は、ほぼ限界近くに達して、 $W 17/50$  で  $1.00 W/kg$  以下の鋼板を製造することは不可能であつた。ここで  $W 17/50$  は磁束密度  $1.7 T$ 、周波数  $50 Hz$  の鉄損である。

したがつて鉄損の飛躍的な減少を達成するためには冶金学的手段以外の手法を講ずる必要がある。

このような方法の一つとして特開昭49-96920号公報に提案されているように鋼板表面を鏡面にする方法も知られているが、鋼板の絶縁などの問題があり実用化されていない。

また仕上焼なましずみ鋼板にナイフやかみそりの刃先などで線状疵を導入することによつて鉄損を減少させる試みもあるけれども、この方法では疵による絶縁被膜の劣化、疵の周辺に生ずるかえりによる占積率の劣化、磁歪の劣化などの問題があり、とくに鋼板を積層した際に単板での鉄損特性がそのまま生かされないという欠点をもつ。したがつて積層して使用するトランスや巻鉄心に対しては実用上のメリットがなく、実際には使用さ

れていない。

さらに別の方法として特開昭58-187016号、特開昭55-18566号および特開昭57-188810号各公報などには、仕上焼なまし後鋼板に微小歪を生じさせることによる鉄損特性改善方法が提案され、これらはそれぞれボールペン状の小球によるスクラッチ、レーザーによるスクラッチ、放電加工と手段は異なるが、いずれも、仕上焼なましのあと、上記微小歪を導入することにより磁区の細分化をはかり、鉄損を減少させようとする基本構想を向くしている。

しかしながらこれらの方法には、その後高温での焼なましが行われたときに、鉄損は劣化するという欠点があり、高温での歪取焼なましを必要とする巻鉄心用材料としては実用上の効果が得られない。

#### 発 明 の 目 的

この発明は上に述べたような欠点がなく、高温での歪取焼なましが行われた場合でも、それによ

る鉄損の劣化のない低鉄損一方向性電磁鋼板を製造することを目的とするものである。

#### 発 明 の 構 成

すなわちこの発明は  $Si 4.5$  重量% (以下単に%と略す) 以下を含むけい素鋼熱延板を1回または中間焼なましをはさむ2回以上の冷間圧延により最終製品板厚となし、脱炭焼なましのうち最終仕上げ焼なましを行なう一方向性電磁鋼板の製造方法において、最終仕上焼なまし工程の前に、鋼板に線状疵を導入することから成る鉄損の低い一方向性電磁鋼板の製造方法であり、最終仕上焼なまし工程の前に、鋼板に導入する線状疵が鋼板の圧延方向とほぼ直角な方向に、幅  $800 \mu$  以下、深さ  $100 \mu$  以下、圧延方向の間隔  $1 mm$  以上であることが実施上好ましい態様である。

以下上記構成について詳細に解説を加える。

一方向性電磁鋼板は  $Si 4.5$  % 以下を含むけい素鋼熱延板を1回または中間焼なましをはさむ2回以上の冷間圧延により最終製品板厚となし、脱

炭焼なましを施したのち、最終仕上焼なましを行なうことにより製造されるのが通例である。

最終仕上焼なましは、鋼板に主として  $MgO$  よりなる焼鈍分離剤を塗布し、コイル状にして約  $1200^\circ C$  の水素雰囲気中で行なわれ、この焼なましでは二次再結晶と鋼中の不純物の純化が行なわれる。

仕上焼なまし後鋼板は未反応の  $MgO$  を除去し、その上にりん酸塩などの絶縁被膜処理が行なわれる。この被膜処理では、鋼板は  $800^\circ C$  程度に加熱され、仕上焼なまし時のコイルセットを除去することが同時に行なわれる。

発明者らは、最終仕上焼なましに関して種々検討した結果、とくに鋼板に線状疵を導入した状態で仕上焼なましを行なうと鉄損が大幅に減少することを以下に示す実験により見出したのである。

実験には  $C 0.045\%$ 、 $Si 8.8\%$ 、 $Mn 0.07\%$ 、またインヒビターとして  $Se 0.02\%$ 、 $Sb 0.025\%$  を含む連延鋼造スラブから熱間圧延して一方向性電磁鋼板素材とし、2回冷間圧延法にて最終板厚

表 1

試料 記号	SST測定値(平均値)			エプスタイン測定値		
	鉄損 $W_{17\%}$	磁束密度 $B_{10}(T)$	(D)との鉄 損差 $\Delta W$	鉄損 $W_{17\%}$	磁束密度 $B_{10}(T)$	(D)との鉄 損差 $\Delta W$
(A)	0.95	1.91	-0.08	0.94	1.91	-0.09
(B)	0.97	1.91	-0.06	0.97	1.91	-0.06
(C)	1.01	1.90	-0.02	1.02	1.91	-0.01
(D)	1.08	1.92	—	1.03	1.92	—

0.30 mmに冷間圧延した試料を用いた。それらの試料について最終冷間圧延後(A)最終冷間圧延を経た脱炭焼なまし後(B)、さらに最終冷間圧延、脱炭焼なましを経た仕上焼なまし後(C)に、それぞれ幅100  $\mu$ 、深さ20  $\mu$ の線状疵を圧延方向とほぼ直角な方向に5 mm間隔で導入し、各供試鋼板はさらに上記の順に、脱炭焼なまし-仕上焼なまし-絶縁被膜処理、仕上焼なまし-絶縁被膜処理、絶縁被膜処理のみをそれぞれ施して製品とした。それらの磁気特性を、疵の導入をせずに同様な工程を経た場合(D)と比較して表1に鉄損、磁束密度の値を掲げた。

この磁気特性は幅150 mm、長さ280 mmの試片をそのまま用いる単板試験器による成鉄(SST測定値)と、幅30 mm、長さ280 mmの試片を800  $^{\circ}\text{C} \times 3$ 時間塩取焼なまししたあとのエプスタイン試験器による測定値(JIS C2550)の両方に対比してある。同表から試料(A)、(B)ではSST測定、エプスタイン測定共に試料(C)、(D)に比べて鉄損が少くとも0.04 ~ 0.09  $\text{W/kg}$ の

ように、著しく向上していることがわかる。

この鉄損減少の理由は明確ではないが仕上焼なましに際して、鋼板に線状疵が存在することにより雰囲気ガスが鋼板層間内部までよく浸透し、不純物の純化が促進されるためと考えられる。

次に上記試料(A)につき鋼板の圧延方向とほぼ直角な方向に5 mm間隔で脱炭焼なましに先立つて導入した線状疵の幅および深さが、製品の鉄損低減に及ぼす影響を調べてその結果を第1図に示した。図中●、○、⊙、①および×印で区別した鉄損低減高は、線状疵を導入した鋼板の鉄損値( $W_{17\%}$ )と疵を導入しない鋼板のそれとの差で示し、疵の深さ100  $\mu$ 以下、幅300  $\mu$ 以下の範囲内で鉄損低減高に目ざましい改善が明らかである。

同様に前記試料(A)につき、第2図に線状疵を導入した間隔が鉄損低減高に及ぼす効果を示し、1 mmより狭い導入間隔では鉄損はむしろ劣化する場合があり、間隔は1 mm以上とくに5 mm程度とすることが望ましい。

線状疵の導入方法としては、ナイフの刃先、レ

ザービーム、放電加工、電子ビームなどがあげられるが、特に限定するまでもなく、要は所望の形状の線状疵を導入することができればよいのである。

さらに第3図は同様に、試料(A)につき線状疵の導入方向と鉄損低減高の関係を示し、鉄損低減効果は線状疵の導入方向を圧延方向と直角な方向とした場合に最も大きく、圧延方向に近くなるにつれて小さくなる。したがって線状疵を導入する方向は圧延方向とほぼ直角な方向とすることが望ましい。

また疵は線状とすることが必要で、線状の形は直線、波線、破線、点線のいずれであつてもかまわない。

この発明の特徴とするところは、最終仕上焼なまし工程の前に鋼板に線状疵を導入する点にある。

疵を導入する時期については最終仕上焼なまし工程の前であればよく、導入した疵が最終仕上焼なまし時に残っていることが肝要であり、一方向性電磁鋼板の製造工程を考慮した場合、最終製品

板厚となす冷延工程以降、最終仕上焼なまし工程前の間で導入するのが望ましい。

すなわち最終仕上焼鈍時に疵が残っていればよいわけであるから、必ずしも最終冷間圧延後に疵を導入する必要はなく、最終冷間圧延以前に導入してもかまわない。但し、この場合は最終冷間圧延の圧下率を疵がなくなるに十分な程度とすることが必要である。

さらに疵導入後、最終仕上焼なましを施した鋼板にりん酸塩被膜等の絶縁被膜を施してもこの発明の効果は失われない。

なお前掲した特開昭50-187819号公報では、最終焼なまし前の鋼板に幅0.5〜3mmにわたる塑性歪を与えて二次再結晶阻止領域を導入し、もつて結晶粒径をコントロールすることにより、鉄損を低減させることが述べられているのに反して、この発明における上記した線状疵の導入にあつては、疵の位置と粒界は無関係であり、同様に試料(A)について第4図(a),(b)で線状疵の有無による比較を金属組織写真にて示すように線状疵は二

次再結晶阻止の働きを持たず、結晶粒径のコントロールなどに寄与しないのである。

以上のようにこの発明で最終仕上焼なまし工程前に線状疵を導入することによる鉄損の改善は、高温での歪取焼なましを施したあとでも持続されて鉄損値に何らの変化はない。したがって巻鉄心用材料としても使用できるという大きなメリットを有する。

#### 実施例1

C 0.043 %, Si 8.8 %, Mn 0.068 %, インヒビターとしてSe 0.018 %, Sb 0.024 % 含む連続製造スラブから熱間圧延した一方向性電磁鋼板素材を、2回冷間圧延にて最終板厚0.30mmに冷間圧延した鋼板につきパルスレーザー照射条件を変えながら、圧延方向とほぼ直角な方向に5mm間隔で表2に示した幅、深さの線状疵を導入した。これらの各鋼板(E)〜(H)は脱脂したのち、湿水素雰囲気中で820℃の一次再結晶焼なましをかねる脱炭焼なまし後、水素雰囲気中で1180℃×5時間の仕上高温焼なまし-絶縁被膜処理を施して

製品とした場合の磁気特性を、疵の導入をせずと同様な工程を経た場合(I)と比較して表2に鉄損、磁束密度の値を掲げた。

表 2

試料 記号	疵の形状		SST測定値(平均値)		エプスタイン測定値	
	巾 (μ)	深さ (μ)	鉄損 $W_{17/50}(W/kg)$	磁束密度 $B_{10}(T)$	鉄損 $W_{17/50}(W/kg)$	磁束密度 $B_{10}(T)$
(E)	20	5	1.03	1.91	1.02	1.91
(F)	75	15	0.96	1.91	0.95	1.91
(G)	130	21	0.97	1.90	0.97	1.90
(H)	200	16	1.01	1.90	1.01	1.90
(I)	疵なし		1.05	1.91	1.04	1.91

注 (E)〜(I) は比較

同表に示すように線状疵の導入により、0.02〜0.09 W/kg の鉄損低減効果が得られた。

#### 実施例2

次に実施例1と成分組成および製造履歴を同じくする冷延鋼板に圧延方向と直角な方向に刃物で機械的に幅85μ、深さ20μの線状疵を5mm間隔で導入した。この鋼板を脱脂したのち、湿水素雰囲気中で820℃の1次再結晶焼なましをかねる脱炭焼なまし後、水素雰囲気中で1180℃×5時間の仕上高温焼なましを行なった結果、次のような特性を有する一方向性電磁鋼板が得られた。

$$W_{17/50} = 0.93 \text{ W/kg} \quad B_{10} = 1.91 \text{ T (SST 値)}$$

$$W_{17/50} = 0.93 \text{ W/kg} \quad B_{10} = 1.91 \text{ T (エプスタイン値)}$$

この時疵を導入しない比較材の磁気特性は、

$$W_{17/50} = 1.03 \text{ W/kg} \quad B_{10} = 1.92 \text{ T (SST 値)}$$

$$W_{17/50} = 1.04 \text{ W/kg} \quad B_{10} = 1.92 \text{ T (エプスタイン値)}$$

であり、線状疵の導入により約0.10 W/kg の鉄損低減効果が得られた。

#### 実施例3

同様に実施例1と成分組成および製造履歴を同

じくする冷延銅板を脱脂したのち、湿水素雰囲気中で820℃の一次再結晶焼なましをかける脱炭焼なましを施した。

この銅板に放電加工を施すことにより、圧延方向と直角な方向に幅80μ、深さ15μの線状疵を5mm間隔で導入した。しかるのち、水素雰囲気中で1180℃×5時間の仕上高温焼なましを施した結果、次のような特性を有する一方向性電磁銅板が得られた。

$$W_{17/50} = 0.98 \text{ W/kg} \quad B_{10} = 1.90 \text{ T (SST値)}$$

$$W_{17/50} = 0.95 \text{ W/kg} \quad B_{10} = 1.91 \text{ T (エプスタイン値)}$$

この時、疵を導入しない比較材の磁気特性は、

$$W_{17/50} = 1.04 \text{ W/kg} \quad B_{10} = 1.91 \text{ T (SST値)}$$

$$W_{17/50} = 1.03 \text{ W/kg} \quad B_{10} = 1.91 \text{ T (エプスタイン値)}$$

であり、線状疵の導入により0.08 W/kgの鉄損低減効果が得られた。

#### 発明の効果

以上のとおり、この発明によつて有利に、鉄損低減高の著しい改善が一方向性電磁銅板の製造過

程のさしたる変更を要せずに実現される。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図はこの発明において導入した疵の形状と鉄損低減高の関係を示すグラフ、

第2図は、線状疵の導入間隔と鉄損低減高の関係を示すグラフ、

第3図は線状疵の導入方向と鉄損低減高の関係を示すグラフであり、

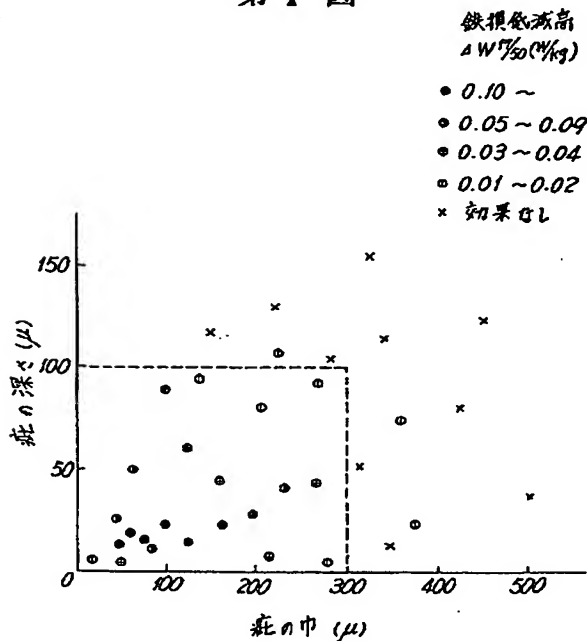
第4図(a),(b)は、線状疵を導入しない場合に対し、この発明により導入した線状疵が二次再結晶に影響を及ぼさないことを示す顕微鏡写真である。

特許出願人 川崎製鉄株式会社

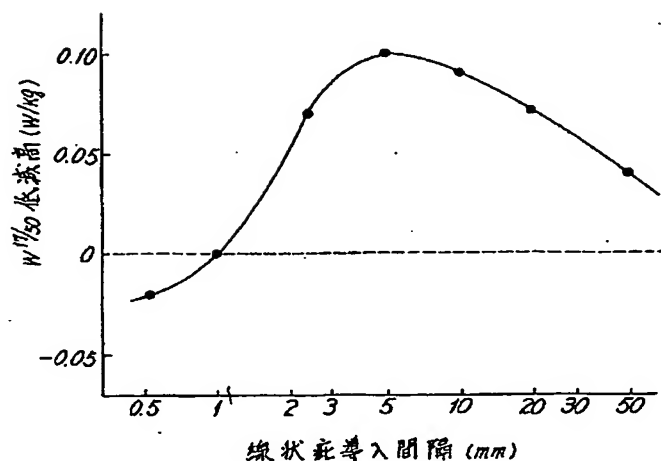
代理人弁理士 杉 村 晴 秀

同 弁理士 杉 村 興 作

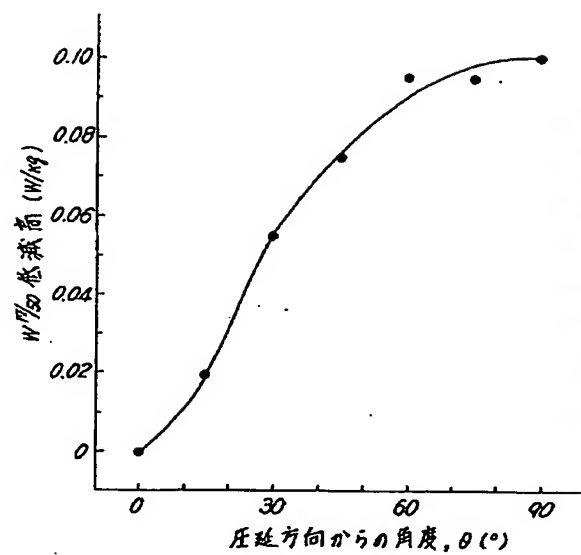
第1図



第2図



第 3 図



第 4 図

